

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MEHRSCICHTIGEN MATERIALABTRAGUNG EINER DREI-  
DIMENSIONALEN OBERFLÄCHE MITTELS LASER DURCH VERWENDUNG EINES DURCH EINE  
MATHEMATISCHE FUNKTION BESCHRIEBENEN POLYGONNETZES, DAS DIE OBERFLÄCHE DARSTELLT

[001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Abtragung von  
5 Material nach einer vorgegebenen Vorschrift, beispielsweise einem sogenannten  
Urmodell. Der Materialabtrag erfolgt von einer beliebig gestalteten, insbesondere nicht-  
ebenen oder rotationssymmetrischen dreidimensionalen Oberfläche, wobei die Tiefe  
des Materialabtrags an jedem Ort der Oberfläche unterschiedlich sein kann.

[002] Verfahren zur Herstellung einer Oberflächenstruktur auf einer beliebig  
10 geformten dreidimensionalen Oberfläche erfordern bei Erreichung einer Präzision im  
Mikrometerbereich zeitintensive und aufwändige Arbeitsschritte. Die Herstellung einer  
Oberflächenstruktur erfolgte bisher mittels Ätzverfahren in Form von schichtweisem  
Abtrag einer Materialschicht von einer Oberfläche oder galvanischen Verfahren, bei  
welchen eine Positivform mit der gewünschten Oberflächenstruktur mit einem Metall  
15 überzogen worden ist, welches dann eine Negativform zur Herstellung des  
gewünschten Formteils oder der Folie ergibt. Diese Verfahrensvarianten erfordern  
immer eine große Anzahl von Verfahrensschritten, um eine Negativform für nur eine  
einzige Oberflächenstruktur zu erhalten. Dies hat auch zur Folge, dass bei jeder  
Änderung der Oberflächenstruktur dieselben Verfahrensschritte erneut anfallen.

20 [003] Bislang sind vor allem zwei Verfahren verbreitet, um Werkzeuge wirtschaftlich  
zu narben, zum einen handelt es sich um die Ätznarbe, wobei die Oberfläche des  
Körpers beliebiger Topologie unterschiedlich maskiert wird und dann durch eine  
Ätzflüssigkeit selektiv abgetragen wird. Dieses Verfahren kann mit Einschränkungen  
25 auch schichtweise angewendet werden und erzeugt dann allerdings einen abgestuften  
Übergang zwischen Narbgipfeln und Narbtälern. Außerdem gibt es Schwierigkeiten bei  
komplizierten Geometrien der zu narbenden Oberfläche.

[004] Ein anderes Verfahren ist das sogenannte Galvano-Verfahren. Hierbei wird ein  
Positivmodell, das sogenannte Belederungsmodell, mit einer Folie (oder Leder)  
30 bezogen, welche die gewünschte Narbe aufweist. In einem Abformverfahren wird dann  
die (Leder)narbe in ein Negativwerkzeug übernommen, das wiederum zur Herstellung  
eines (Positiv-) Badmodells verwendet wird. Auf dieses wird dann in einem Bad  
galvanisch eine Metallschicht aufgebracht. Das so erhaltene Galvanowerkzeug muss  
dann noch verstärkt werden, kann dann aber auch nur für bestimmte Verfahren zur  
35 Teileherstellung zur Anwendung kommen, die seine Oberfläche nicht zu stark  
beanspruchen. Verbreitet sind vor allem das Slush-Verfahren und das Sprühhaut-

Verfahren, wobei aber beide letztgenannten Verfahren sehr zeit- und kostenaufwendig sind. Als Alternative bietet sich eine Abtragung der Oberfläche mittels Laser an. Die Technologie der Abtragung von Material mittels Laser ist aus DE3939866 A1 aus dem Bereich der Lasergravur bekannt. Von Bedeutung ist meist die detailgetreue Abbildung eines Objekts, welches im wesentlichen eine zweidimensionale, also ebene Oberfläche aufweist. Somit erfolgt der Materialabtrag entlang einer im wesentlichen konstanten Tiefe. Eine Abbildung von dreidimensionalen Oberflächenstrukturen ist nicht Gegenstand eines derartigen Verfahrens, womit das Problem einer Abtragung von Material zur Erzeugung einer dreidimensionalen Struktur sich nicht stellt.

- 5 [005] Die Materialabtragung durch Verdampfen einer Oberflächenschicht mittels Laser ist aus DE4209933 C2 bekannt. Der Laserstrahl wird aufgeweitet und durch drehbare Ablenkspiegel über eine von einem Rechner vorgegebene Bezugslinie geführt. Die Bezugslinien bilden ein Rasterfeld. Das Rasterfeld wird mehrmals vom Laserstrahl entlang winkelfersetzter Bezugslinien abgefahren, wobei Material durch Verdampfung abgetragen wird. Durch die Variation der Richtung der Laserspuren durch Drehung in der Bearbeitungsebene um einen bestimmten Winkel werden systematische Überhöhungen in der Grenzschicht vermieden. Dadurch entsteht eine netzartige Struktur der Rasterlinien. Diese Technologie findet ebenfalls ausschließlich auf zweidimensionalen Oberflächen konstanter Tiefe Anwendung. Mit der in der Patentschrift offenbarten Technologie wird ein gleichmäßiger Abtrag von Material im Rasterfeld erreicht.

- 15 [006] Eine zeilenweise Führung des Lasers in Bahnen (Rasterlinien), bzw. Spuren, im jeweiligen Bearbeitungsfeld des Lasers wird in DE10032981 A1 offenbart. Die Spuren werden bereichsweise auf ein sich bewegendes Körper beliebiger Topologie aufgebracht. Um zu vermeiden, dass sich im Überlappungsbereich der Spuren an den Bereichsgrenzen eine scharfe Trennlinie ausbildet, die durch übermäßigen Materialabtrag im Überlappungsbereich entsteht, werden die Bereichsgrenzen bei jedem Abtrag versetzt. Mit anderen Worten, bei zeilenförmigem Abtrag eines Bereichs setzt der Laser am Rand nicht längs einer Linie ab, sondern fährt in die Nähe dieser Linie. Der Endpunkt der Abtragung liegt dann zwar in einem Abstandsbereich dieser Linie, dieser Abstandsbereich ist aber von Zeile zu Zeile verschieden. Da die Endpunkte sich somit statistisch um den Mittelwert der Linie verteilen, kann kein optischer Defekt wahrgenommen werden. Dieses Verfahren eignet sich zum Abtrag von Rasterfeldern, welche auf einer Ebene liegen. Sobald die Rasterfelder aber eine Neigung gegeneinander aufweisen, wird durch das Abtragmittel eine andere Materialmenge abgetragen, wenn sich das Abtragmittel aus dem Rasterfeld entfernt.
- 20  
25  
30  
35

Somit müsste jeder einzelne Endpunkt aufgezeichnet werden, der Materialabtrag bestimmt, und der für das benachbarte Rasterfeld vorgesehene Materialabtrag um den Fehlbetrag korrigiert werden. Aus diesem Grund ist das Verfahren für dreidimensionale Oberflächen nur unter hohem zusätzlichem Rechenaufwand anwendbar.

5 [007] Die schichtweise Materialabtragung zur Erzeugung dreidimensionaler Strukturen wird in den beiden Patentschriften US6300595 B1 und US6407361 B1 offenbart. Dabei werden Linien auf einer mittels eines EDV-Programms generierten dreidimensionalen Grafik in Bahnen für die Abtragung mittels Laser umgerechnet. Diese Bahnen liegen auf ebenen Schichten. Die Materialabtragung erfolgt entlang  
10 dieser Bahnen auf jeder dieser ebenen Schichten. Die Länge der Bahnen wird aus der dreidimensionalen Grafik rechnerisch abgeleitet. Vorteilhafterweise besteht die Grafik aus einfach zu modellierenden Objekten, wie Halbkreisen oder Pyramiden. Es wird zwar die Möglichkeit erörtert, mehrere derartige, geometrisch einfach beschreibbare Grafiken zu einem komplexen Kunstwerk zusammenzusetzen, allerdings muss jede  
15 dieser Grafiken sequentiell abgetragen werden. Im Übergangsbereich aller Bearbeitungsfelder wird bei jedem Bearbeitungsvorgang einer Schicht das Problem auftreten, dass entweder Grate oder Löcher in der Form entstehen. Bei Grafiken, welche eine rotationssymmetrische Ausnehmung in einer ebenen Oberfläche erzeugen, tritt dieses Problem nicht auf, welches die Verwendung des in den beiden  
20 Patentschriften offenbarten Verfahrens bei komplexen Oberflächenstrukturen nicht erlaubt.

[008] Nach der Lehre der DE10116672 A1 werden Grob- und Feinstrukturen unterschiedlich bearbeitet, wobei Feinbereiche mittels Laser und Grobbereiche mittels einer Abtragvorrichtung bearbeitet werden. Diese Technologie eignet sich  
25 insbesondere für Bearbeitung von Metalloberflächen, welche beispielsweise auf Druckzylindern angeordnet sind. Die Grobbearbeitung erfolgt mittels mechanischer Abtragvorrichtungen.

[009] Bekanntermaßen lassen sich beispielsweise durch die Materialabtragung mittels Laser auch komplizierte Strukturen herstellen, dies wird beispielsweise bei der  
30 Mikrobearbeitung von Materialien ausgenutzt. Es gibt auch bereits Verfahren, um großflächig Material mit dem Laser abzutragen. Allerdings ist es bisher nicht gelungen, mit diesen vorbekannten Laserverfahren beliebige gekrümmte Oberflächen mit einer beliebigen Textur zu versehen, wobei die Genauigkeit des Abtrags im Bereich von einigen  $\mu\text{m}$  liegen soll. Der Grund liegt darin, wie unter der Bewertung des Standes der  
35 Technik früher erwähnt wurde, dass die Polygone des Polygonnetzes nicht in einer Ebene liegen. Der Bearbeitungsbereich des Abtragsmittels liegt allerdings in einer

Ebene, was bedeutet, dass sich die Tiefe des Abtrags verändert, sobald das Abtragmittel die Ebene verlässt.

- [0010] Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Oberflächenstruktur, wie beispielsweise eine
- 5 Narbe, von Körpern beliebiger Topologie, also beliebig gestalteten dreidimensionalen Oberflächen abzutragen. Diese Oberfläche kann durch eine mathematische Funktion zumindest näherungsweise beschrieben werden und wird auch Urmodell genannt, welches mit einem Polygonnetz überzogen wird. Diesem Polygonnetz wird an jeder Stelle ein Wert für die Tiefenabmessung der Oberflächenstruktur zugeordnet. Der Wert
- 10 kann als eine Anzahl von Graustufen ausgedrückt werden, welche einem oder mehreren Bildpunkten der Urtexturbitmap zugeordnet sind. Alternativ dazu können auch Farben oder Farbintensitäten als Wert verwendet werden, in abstrakterer Form kann es sich auch um Zahlenwerte handeln, welche proportional der Tiefe des Materialabtrags sind. In der Folge werden Graustufen stellvertretend als Beispiel für
- 15 diese Zuordnung von Werten verwendet. Somit bildet mindestens je eine Graustufe eine Urtexturbitmap aus, wobei die Urtexturbitmap einem Polygon des Polygonnetzes des Urmodells zugeordnet ist. Die Summe der Urtexturbitmaps ergibt die Oberfläche des Urmodells. Jedes der Polygone des Urmodells kann gerade so groß gewählt werden, dass dessen Urtexturbitmap in einen Bearbeitungsbereich passt. Ein
- 20 Bearbeitungsbereich wird durch die Arbeitsweise des Abtragmittels bestimmt. Ist das Abtragmittel ein Laser, liegt der Bearbeitungsbereich im Inneren des Fokus-Quaders. Ein Fokus-Quader entsteht, wenn man die Laserstrahlen bei Einsatz einer Planfeldlinse bei einer bestimmten Position des Scanners derart auf die Oberfläche des Körpers beliebiger Topologie richtet, dass ein punktgenauer Materialabtrag
- 25 ermöglicht wird. Der Abstand zwischen Scanner und der Mittelebene des Quaders ist durch die Brennweite der Laseroptik gegeben. Die Höhe des Bearbeitungsbereichs, bei vorgegebenem maximalen Fehler der abgetragenen Schichtdicke, ist durch die maximale Fokustiefe (= Abweichung von der Brennweite) gegeben und seine Seitenlänge durch die entsprechende maximale Auslenkung der Galvanospiegel im
- 30 Scanner. Innerhalb des Fokus-Quaders kann der Bearbeitungsbereich durch ein Polygon angenähert werden, dessen Ecken alle auf einer Fläche liegen, die idealerweise exakt den Abstand der Brennweite zu der Laseroptik hat und senkrecht zur Richtung des Laserstrahles in der Mittelstellung der Ablenkspiegel steht.
- [0011] Das Polygon im Bearbeitungsbereich enthält eine Graustufenbitmap, welche
- 35 durch Parallelprojektion der Urtexturbitmap auf das Polygon des Bearbeitungsbereichs erhalten wird. Die Summe der Polygone der Bearbeitungsbereiche ergibt wiederum die

Oberfläche. Die Graustufenbitmap enthält alle Informationen über den in diesem Bearbeitungsbereich vorzunehmenden Materialabtrag. Jedem Bearbeitungsbereich ist eine Graustufenbitmap durch Parallelprojektion zugeordnet, somit enthalten alle Graustufenbitmaps die Informationen über die Oberflächenstruktur, die durch Materialabtrag erhalten werden soll. Die Oberflächenstruktur jeder Teilfläche wird somit durch ein Rasterbild, in diesem Beispiel der oben erwähnten Graustufenbitmap, welches aus Bildpunkten besteht, beschrieben, wobei die jeweils zu bearbeitende Teilfläche der Oberfläche vollkommen in den Fokusbereich des Lasers zu liegen kommt. Die Punktlage der Bildpunkte auf den Polygonen im dreidimensionalen Raum entspricht einer zweidimensionalen Koordinatenlage auf der Fläche der Rasterbilder, also der Graustufenbitmaps.

[0012] Die Polygonnetze jeder Schnittfläche sind versetzt zueinander angeordnet, sodass gleichartige Polygone nie mit ihren Kanten übereinander zu liegen kommen. Dabei kann sowohl die Position, der Winkel als auch die Größe der Polygone von Schicht zu Schicht verschieden sein.

[0013] Der Materialabtrag erfolgt im Bearbeitungsbereich derart, dass durch das Abtragsmittel so oft ein Materialabtrag an einem bestimmten Punkt erfolgt, bis der Wert der Graustufe erreicht ist. Dazu fährt das Abtragsmittel den Bearbeitungsbereich ab, nimmt in den Punkten einen Materialabtrag vor, in denen der Wert der Graustufe noch nicht erreicht ist, und schreitet zum nächsten Bearbeitungsbereich fort, bis alle Bearbeitungsbereiche vom Abtragsmittel angefahren worden sind, womit der Materialabtrag der ersten Schicht beendet ist. Für die nächstfolgende Schicht erfolgt der Abtrag nach demselben Ablauf. Material wird nur abgetragen, wo der Wert der Graustufe noch nicht erreicht ist, in den restlichen Punkten erfolgt kein Materialabtrag.

[0014] Damit eröffnet sich die Möglichkeit, beliebig geformte Oberflächen, die beispielsweise als Werkzeuge oder Modelle ausgebildet sind, mit einer dreidimensionalen Oberflächenstruktur zu versehen, die einer natürlichen Oberflächenstruktur möglichst nahe kommt. Eine derartige Oberflächenstruktur ist beispielsweise die Narbe des Leders, die dadurch gekennzeichnet ist, dass Narbgipfel unterschiedliche Höhen und Ausdehnungen aufweisen und der Übergang zwischen Narbgipfeln und Narbtälern gleichmäßig verläuft. Diese Oberflächenstruktur kann mit Hilfe der Schnittflächen und der darauf angeordneten Graustufen abgebildet werden, sodass sie in eine maschinenlesbare Form übergeführt wird. Diese Information kann dann von einem Datenverarbeitungsprogramm in Steueranweisungen für eine Abtragvorrichtung umgewandelt werden. Als Abtragvorrichtung eignet sich

insbesondere eine Laservorrichtung, mittels derer die gewünschte Genauigkeit im Mikrometerbereich erreichbar ist.

5 [0015] Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, sichtbare Trenn- oder Grenzlinien beim Materialabtrag zu vermeiden, wobei diese Trennlinien als Grate oder Nuten im Randbereich eines Bearbeitungsbereichs ausgebildet sind.

[0016] Eine weitere Aufgabe ist die Realisierung beliebiger Varianten in der Oberflächenstruktur allein durch Programmierung des Abtragsmittels. Die gewünschte Oberfläche, die Ergebnis einer Simulation, einer Bearbeitung eines Urmodells mittels  
10 eines Graphikprogramms oder eines 3d Scans sein kann, wird direkt in eine Ansteuerung des Abtragsmittels zum zeilenweisen Abtrag der Oberfläche zur Erzeugung der Oberflächenstruktur übersetzt.

[0017] Diese weiteren Aufgaben werden durch folgendes Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen  
15 Oberfläche mittels eines punktförmig auf eine Oberfläche wirkenden Abtragsmittels, wie eines Lasers, verwirklicht, bei welchem eine Oberflächenstruktur auf der dreidimensionalen Oberfläche erzeugt wird, wobei die Oberfläche durch eine mathematische Funktion beschreibbar ist und demzufolge durch ein Polygonnetz angenähert werden kann. Die Oberflächenstruktur soll in der Folge auch als Textur  
20 bezeichnet werden. Das Verfahren zur Erzeugung einer Textur auf einer beliebig gekrümmten Oberfläche, wobei die Oberfläche als mathematische Funktion darstellbar ist, umfasst die Zerlegung der Oberfläche in eine Vielzahl von Teilflächen. Die Teilflächen beschreiben einen Ausschnitt der Textur durch eine Anzahl von Bildpunkten, denen eine Graustufe zugeordnet ist. Jede Teilfläche weist somit eine  
25 Verteilung von Graustufen auf. Jeder Graustufe wird ein Abstandswert zugeordnet, der dem kürzesten Abstand der Tangentialebene in diesem Bildpunkt zu dem Punkt auf der Texturoberfläche entspricht. Die Materialabtragung kann in mehreren Schichten erfolgen, wobei jeder Schicht ein eigenes Polygonnetz zugeordnet ist. Durch den Abstandswert wird die Anzahl der Schichten festgelegt, in welchen ein Materialabtrag  
30 erfolgen soll. Dieser Abstandswert kann ein Vielfaches der Schichtdicke betragen. Die Schichten können durch dieselbe mathematische Funktion beschrieben werden, wie die gekrümmte Oberfläche. Jede Schicht ist aus Teilflächen aufgebaut, wobei es sich bei den Teilflächen um Polygone handelt, auf welchen ein Bildpunkt angegeben ist, wenn der Abstandswert größer als die Summe der Schichtdicken der Schichten ist,  
35 welche zwischen der gekrümmten Oberfläche und der jeweiligen Schicht liegen. Die jeweils zu bearbeitende Teilfläche jeder Schicht hat in einer vorteilhaften Ausgestaltung

- keinen Randabschnitt mit einem der vorher bearbeiteten Teilflächen gemeinsam. Die Teilflächen benachbarter Schichten weisen somit keine gemeinsame Kante auf. Kanten der Teilflächen benachbarter Schichten sollen nicht übereinander zu liegen kommen, da es am Rand der Schicht zu einem Fehler in der Abtragung kommt. Dieser
- 5 Fehler kann in der Ausbildung eines Grates oder eines Lochs bestehen. Die Teilflächen benachbarter Schichten sind zueinander versetzt angeordnet, gegeneinander gedreht oder auch zufällig angeordnet. Alternativ dazu oder zusätzlich können auch die Teilflächen benachbarter Schichten unterschiedliche Größe aufweisen. Jeder Schicht ist ein eigenes Polygonnetz zugeordnet. Das jeweils zu
- 10 bearbeitende Teilstück jeder Schicht hat keinen Randabschnitt mit einem der vorher bearbeiteten Teilstücke gemeinsam. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden für jede Teilfläche, beziehungsweise jedes Polygon eine unterschiedliche Winkelrichtung der Laserspuren vorgegeben. Die Laserspuren treffen schräg auf die Teilfläche auf, wodurch weitere Randeffekte vermieden werden.
- 15 [0018] Das Polygonnetz wird in ein Steuerungsprogramm eines Abtragsmittels eingelesen, wobei das Steuerungsprogramm Bearbeitungsbereiche festlegt. Ein derartiger Bearbeitungsbereich umfasst mindestens eine Teilfläche. Der Bearbeitungsbereich liegt im Inneren eines Fokusbereichs einer Abtragvorrichtung,
- 20 wobei der Bearbeitungsbereich zeilenweise von einer Abtragvorrichtung abgefahren wird. Die Abtragvorrichtung wird eingeschaltet, wenn ein Bildpunkt in der im Bearbeitungsbereich liegenden Schicht zu liegen kommt. Die Abtragvorrichtung wird nicht eingeschaltet, wenn kein Bildpunkt der Schicht erkannt wird, was genau dann der Fall ist, wenn die dem Bildpunkt zugeordnete Graustufe einen Wert aufweist, bei
- 25 welchem kein Abtrag mehr vorgenommen werden soll. Ist dieser Wert ein Helligkeitswert, und ist der maximale Abtrag an den dunkelsten Wert (schwarz) gekoppelt, wird bei Erreichen des Helligkeitswertes des Bildpunktes der Abtrag eingestellt. Je heller der Bildpunkt, desto weniger Schichten werden abgetragen. Ist der maximale Abtrag hingegen an den hellsten Wert gekoppelt, wird Material in umso mehr
- 30 Schichten abgetragen, je heller der zugehörige Bildpunkt ist. Anstatt mit Helligkeitswerten kann auch mit Farbintensitäten, Spektralbereichen, Wellenlängen oder vergleichbarer Gradmesser gearbeitet werden, insoweit sie sich für eine graphische Darstellung der Oberflächenstruktur in einem Modell eignen oder sich von einer graphischen Darstellung in diesem Modell mittels eindeutiger Vorschriften für
- 35 mehrschichtigen Materialabtrag transformieren lassen.

[0019] Das Verfahren findet für alle Materialien Verwendung, die geeignet sind, vom gewählten Abtragsmittel abgetragen zu werden. Im Vergleich zu jedem der bekannten und sich im Einsatz befindenden Ätzverfahren oder galvanischen Verfahren bietet das Verfahren die Möglichkeit, innerhalb kürzerer Zeit eine genarbte Oberfläche hoher Qualität zu erhalten, wobei es wenig Einschränkungen in Bezug auf die Geometrie der Oberflächenstruktur zu beachten gilt und in der Materialauswahl nur darauf geachtet werden muss, dass das Abtragsmittel geeignet ist, den Materialabtrag in der gewünschten Genauigkeit vorzunehmen.

- 10 [0020] Fig. 1 ist eine Darstellung einer gekrümmten Oberfläche  
[0021] Fig. 2a ist eine Darstellung einer Textur als Schichtbild  
[0022] Fig. 2b ist die Darstellung der Umwandlung der Textur in ein Rasterbild  
[0023] Fig. 2c ist ein Schnitt durch eine Textur  
[0024] Fig. 2d ist die Darstellung der Teilflächen mit den Rasterbildern  
15 [0025] Fig. 3 ist eine Darstellung der Schichten mit den Teilflächen und ihren Rasterbildern  
[0026] Fig. 4 ist eine schematische Darstellung des Verfahrens  
[0027] Fig. 5 ist eine Darstellung des Abtrags einer Oberfläche in mehreren Schichten  
[0028] Fig. 6 ist die Darstellung des Abtrags gekrümmter Oberflächen  
20 [0029] Fig. 7 ist ein Detail aus Fig. 6 in dreidimensionaler Darstellung  
[0030] Fig. 8 zeigt eine erste Anordnung von zwei benachbarten Schichten  
[0031] Fig. 9 zeigt eine zweite Anordnung von zwei benachbarten Schichten  
[0032] Fig. 10 zeigt eine dritte Anordnung von zwei benachbarten Schichten  
[0033] Fig. 11 zeigt eine vierte Anordnung von zwei benachbarten Schichten

25

- [0034] Fig. 1 ist die Darstellung einer gekrümmten Oberfläche 1, die durch eine mathematische Funktion beschrieben werden kann. Diese gekrümmte Oberfläche 1 soll mit einer Textur 2, also einer Oberflächenstruktur, versehen werden. Mit dieser Erfindung wird ein Verfahren für den schichtweise selektiven Formabtrag an einem Körper beliebiger Topologie 15, das heißt also einem Körper mit der obengenannten Oberfläche 1, realisiert. Dabei soll eine Oberflächenstruktur 2 beispielsweise in der Form einer Narbe in den Körper beliebiger Topologie 15 eingebracht werden. Insbesondere soll die Oberflächenstruktur 2 möglichst gleichmäßig verlaufende Übergänge zwischen Narbengipfeln und Narbtälern aufweisen. Des weiteren sollen bezüglich der Topologie des Körpers keine Beschränkung auf z.B. Zylinderflächen oder auf ebene Oberflächen notwendig sein. Derartige beliebige Oberflächenstrukturen oder
- 30  
35



Narben müssen derart dargestellt werden können, dass sie mit einem bekannten Verfahren zur Abtragung von Material, insbesondere einem Laserverfahren, hergestellt werden können.

[0035] In Fig. 2a ist eine derartige Oberflächenstruktur 2 in einer zweidimensionalen  
5 Abbildung dargestellt. Die Tiefe der Textur wird durch die dargestellten Linien  
versinnbildlicht, die den Höhenlinien einer Landkarte entsprechen. Die Kontur 20 der  
Oberflächenstruktur 2 ist beliebig gewählt, ebenso wie der Verlauf der Höhenlinien.  
Diese Kontur 20 soll mittels eines Abtragsmittels 9 erzeugt werden. Als Abtragsmittel 9  
10 kann ein Laserstrahl eingesetzt werden. Der Materialabtrag erfolgt dann durch das  
Verdampfen des Materials durch die mittels des Laserstrahles eingebrachte  
Wärmeenergie. Der Laserstrahl wird rechnergesteuert entlang des  
Bearbeitungsbereichs 10 gemäß der nachfolgend beschriebenen Abtragsvorschrift über  
den Körper beliebiger Topologie 15 geführt. Bei großen Flächen erfolgt die  
Bearbeitung im allgemeinen abschnittsweise, das heißt in einem Abschnitt wird der  
15 Materialabtrag aller Schichten beendet, bevor mit dem nächsten Abschnitt begonnen  
wird.

[0036] In Fig. 2b ist dargestellt, wie die Textur 2 in ein Rasterbild umgewandelt wird.  
Hierbei muss man zwischen der Beschreibung der Topologie, d.h. der Geometrie des  
Körpers beliebiger Topologie 15 und der Narbe unterscheiden, das heißt, der  
20 gewünschten Feinstrukturierung der Oberfläche, welche auf dem Körper beliebiger  
Topologie – oder in allgemeiner Formulierung der gekrümmten Oberfläche - durch ein  
formgebendes Verfahren erzeugt wird. Dieses Rasterbild oder Urtexturbitmap 3 ist aus  
Bildpunkten 4 aufgebaut, wobei die Graustufe 5 ein Maß für den Abstandswert 6 der  
unbearbeiteten gekrümmten Oberfläche zu dem Grundbereich oder Boden der  
25 Oberflächenstruktur 2 darstellt. Anders ausgedrückt, umfasst das Verfahren zur  
Erzeugung einer Textur 2 auf einer beliebig gekrümmten Oberfläche 1 die Abtragung  
von Material in Schichten 7, wobei die Oberfläche 1 als mathematische Funktion  
darstellbar ist. Diese Oberfläche wird in eine Vielzahl von Teilflächen, also Polygonen  
eines Polygonnetzes 17, zerlegt, wie sie in Fig. 2d beispielhaft dargestellt sind. Den  
30 Teilflächen, also den Polygonen des Polygonnetzes 17 wird ein Rasterbild, die  
Urtexturbitmap 3 zugeordnet. Die Urtexturbitmap 3 beschreibt einen Ausschnitt der  
Textur 2 durch eine Anzahl von Bildpunkten 4, denen eine Graustufe 5 zugeordnet  
wird. Jede Teilfläche weist somit über eine Anzahl an Bildpunkten 4 eine Verteilung  
von Graustufen 5 auf, wobei jeder Graustufe 5 ein Abstandswert 6 zugeordnet wird, der  
35 dem Normalabstand der Tangentialebene an die gekrümmte Oberfläche 1 in diesem  
Bildpunkt zu der Narboberfläche entspricht. Dieser Abstandswert 6 ist für den Abstand

von der gekrümmten Oberfläche 1 bis zum tiefsten Punkt der Narbe 2 schematisch dargestellt.

[0037] In der Automobilindustrie werden zur Topologie-Beschreibung von sogenannten Freiformflächen, also gekrümmten Oberflächen, die durch eine mathematische Funktion beschrieben werden, im allgemeinen NURBS (non-uniform rational B-Splines) eingesetzt. Wenn man mit einer einzigen NURBS-Fläche eine komplexe Geometrie nicht zufriedenstellend beschreiben kann, werden mehrere sogenannte NURBS-Patches aneinandergesetzt. Oftmals werden diese vor dem Zusammensetzen auch noch beschnitten oder getrimmt, wozu auf den NURBS-Flächen liegende NURBS-Kurven eingesetzt werden.

[0038] Um diese Topologie mit einem Abtragsmittel 9, wie beispielsweise einem Laser, bearbeiten zu können, muss sie in Bearbeitungsbereiche 10 aufgeteilt werden. Diese Bearbeitungsbereiche 10 sind in Fig. 3 näher dargestellt. Die Größe des Bearbeitungsbereiches 10 wird Idealerweise so gewählt, dass er von dem Abtragsmittel 9 zeilenweise abgefahren werden kann. Ist das Abtragsmittel ein Laser, wird bei entsprechender Stellung des Scanners (möglichst näherungsweise senkrecht auf dem Bearbeitungsbereich 10) lediglich durch Einflussnahme auf die Galvanospiegel abgescannt. Des weiteren sollte die Entfernungsänderung zwischen Scanner und Teilfläche 19 gering gehalten werden. Ziel muss bei der Wahl der Größe des Bearbeitungsbereiches 10 in jedem Fall sein, dass weder durch die Winkelstellung des Abtragsmittels, also beispielsweise des Lasers, noch durch die Veränderung des Abstandes zwischen der Teilfläche 19 und dem Scanner eine unerwünschte Änderung der Stärke des Materialabtrages erfolgt. Bei jedem Bearbeitungsbereich 10 ist zu beachten, dass er als ganzes im Fokusbereich 11 des Abtragsmittels 9 zu liegen kommt.

[0039] Den möglichen Bearbeitungsbereich bei einer bestimmten Position des Scanners kann man bei Einsatz einer Planfeldlinse durch den Fokus-Quader 11 beschreiben. Der Abstand zwischen Scanner und der Mittelebene des Quaders ist durch die Brennweite der Laseroptik gegeben. Die Höhe des Bearbeitungsbereichs, bei vorgegebenem maximalen Fehler der abgetragenen Schichtdicke, ist durch die maximale Fokustiefe (= Abweichung von der Brennweite) gegeben und seine Seitenlänge durch die entsprechende maximale Auslenkung der Galvanospiegel im Scanner.

[0040] Innerhalb des Fokus-Quaders 11 kann der Bearbeitungsbereich 10 durch ein Polygon angenähert werden, dessen Ecken alle auf einer Fläche liegen, die idealerweise exakt den Abstand der Brennweite zu der Laseroptik hat und senkrecht

zur Richtung des Laserstrahles in der Mittelstellung der Ablenkspiegel steht. Diesem Polygon entspricht nun eine Teilfläche 19 der zu bearbeitenden Schicht 7, wobei der Bearbeitungsbereich 10 durch Projektion des Polygons auf die NURBS-Fläche entsteht und vollkommen im Fokus-Quader 11 liegen muss.

- 5 [0041] Die gesamte Topologie der zu bearbeitenden Oberfläche 1 wird somit durch ein Gitternetz von zusammenhängenden Teilflächen 19 oder Polygonen verschiedener Größe und Form beschrieben. Dabei sind die Randbereiche 13, also die Polygonkanten unabhängig von den Rändern der die zu bearbeitende Teilfläche 19 beschreibenden NURBS-Patches zu wählen, d.h. es kann und wird vorkommen, dass  
10 ein oder mehrere Punkte des Polygons auf einem Patch liegen und ein oder mehrere Punkte des Polygons auf dem angrenzenden NURBS-Patch.

- [0042] Für die Beschreibung der Feinstruktur der Oberfläche wird jedem Polygon zwecks der besseren Verarbeitbarkeit durch das Steuerprogramm des Lasers ein Rasterbild 14 (Bitmap) zugeordnet. Dieses Rasterbild 14 entspricht im wesentlichen  
15 der Teilfläche 19 und ist aus Bildpunkten verschiedener Graustufen 12 aufgebaut. In Fig. 7 wird dargestellt, dass das Rasterbild 14 nicht genau der Teilfläche 19 entspricht. Hierbei entspricht die Größe des Bildpunktes näherungsweise der Größe des Durchmessers des Laser-Lichtkegels und die Graustufe 12 (Helligkeit) des Bildpunktes der Tiefe der Oberflächenstruktur 2 an diesem Punkt. Ein weißer Punkt bedeutet in  
20 diesem Beispiel, dass überhaupt kein Material abgetragen wird, während ein schwarzer Punkt maximalen Materialabtrag bedeutet (oder umgekehrt).

- [0043] Eine noch höhere Genauigkeit kann durch eine Beschreibung des Laserpunktes durch mehrere Bildpunkte in der Bitmap erreicht werden, wobei auf den unterschiedlichen Materialabtrag quer über den Durchmesser des Laserpunktes  
25 zurückgerechnet werden kann. Der Nachteil besteht in der Vergrößerung der Bitmap und der entsprechend höhere Speicherbedarf und der sich daraus ergebende Rechenaufwand in der Steuerelektronik.

- [0044] Die Codierung der Bitmap entspricht hierbei der maximalen Zahl der Schichten 7, das heißt bei 256 Graustufen (= 8 bit) je Bildpunkt können maximal 256 Schichten  
30 dargestellt werden. Zur Abspeicherung dieses Rasterbildes sind verschiedene Computerformate mit entsprechenden Komprimierungsalgorithmen bekannt, die eine sehr starke Verringerung des Speicherbedarfes zur Folge haben.

- [0045] Im allgemeinen Fall wird die Teilfläche 19, also das Polygon, selten eine quadratische Form haben. Daher erfolgt eine Zuordnung der Eckpunkte des Polygons  
35 im dreidimensionalen Raum zu jeweils einem entsprechenden Punkt auf der Bitmap 14 in 2D-Koordinaten (Texturkoordinaten).

- [0046] In Fig. 4 ist dargestellt, wie der Zusammenhang zwischen dem Rasterbild, welches die Bildpunkte 4 mit ihren Graustufen 5 enthält und den Schichten 7 ist, welche im wesentlichen der Kontur der gekrümmten Oberfläche folgen. Somit können die Schichten 7 mit im wesentlichen identischen mathematischen Funktionen
- 5 beschrieben werden, wie die Oberfläche, oder mit einer Serie von mathematischen Funktionen, die sich als NURBS-Patches darstellen. Die unterschiedlichen Graustufen 5 werden als Vorschrift zum Abtragen von Material auf die einzelnen Schichten projiziert. Die Schicht selbst kann wiederum in Teilflächen 19 eingeteilt werden, wobei die Teilflächen so beschaffen sein sollten, dass die Genauigkeit der Abtragung durch
- 10 das Abtragmittel 9 gewährleistet ist. Die Graustufe 12 entspricht der maximalen Tiefe des Abtrags. Dementsprechend wird beim Durchfahren jeder Schicht mit dem Abtragmittel 9 an der Stelle, welche der Graustufe 12 entspricht, ein Abtrag vorgenommen. Die Summe der Abträge je Schicht ergibt somit den gesamten Materialabtrag.
- 15 [0047] Der Ablauf des Verfahrens wird in Fig. 4 wie folgt schematisch dargestellt. Das Verfahren zur mehrschichtigen Materialabtragung von einem Körper beliebiger Topologie 15 mit einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche 1 erfolgt mittels eines punktförmig auf eine Oberfläche wirkenden Abtragmittels 9, wie eines Lasers, mittels welchem eine Oberflächenstruktur 2 auf der dreidimensionalen
- 20 Oberfläche 1 erzeugt wird. Auf der Oberfläche 1 werden Bearbeitungsbereiche 10 definiert, wobei ein derartiger Bearbeitungsbereich 10 durch den Fokusbereich 11 des Abtragmittels bestimmt ist. Die Oberfläche 1 wird durch übereinander liegende Polygonnetze 18 angenähert, wobei jedes Polygon 19 des Polygonnetzes 18 dem Bearbeitungsbereich 10 des Abtragmittels 9 zugeordnet ist.
- 25 [0048] Die Oberflächenstruktur 2 wird durch mindestens eine Graustufenbitmap 14 beschrieben. Die Graustufenbitmap 14 umfasst Bildpunkte unterschiedlicher Graustufen 12 oder unterschiedlicher Farbstufen. Die jedem Bildpunkt der Graustufenbitmap 14 entsprechende Helligkeit der Graustufe 12 oder die Intensität der Farbstufe oder der Kennwert der Farbe, wie beispielsweise eine Wellenlänge bei
- 30 Verwendung mehrfarbiger Bitmaps, bestimmt die Tiefe des Materialabtrags.
- [0049] Der Materialabtrag erfolgt in der Anzahl Schichten 7, welche dem Wert der Graustufe 12 entsprechen. Jeder Schicht 7 ist ein eigenes Polygonnetz 18 zugeordnet. Das jeweils zu bearbeitende Polygon 19 jeder Schicht 7 hat keinen Randabschnitt mit einem der vorher bearbeiteten Polygone gemeinsam, womit sich Randeffekte
- 35 vermeiden lassen, welche durch Ansetzen und Absetzen des Abtragmittels auf der Oberfläche sichtbar werden können.

[0050] Zur Durchführung des Verfahrens wird ein ursprüngliches dreidimensionales Computermodell 16 des Körpers beliebiger Topologie 15 erzeugt, welches durch ein ursprüngliches Polygonnetz 17 beschrieben wird. Den dreidimensionalen Ecken der Polygone des ursprünglichen Polygonnetzes 17 entsprechen zweidimensionale Punkte in einer oder mehrerer Ur-Texturbitmaps 3. Die Polygone werden in den zweidimensionalen Raum der Ur-Texturbitmaps 3 übertragen, wobei der Graustufenwert 5 eines Bildpunktes 4 der Ur-Texturbitmap 3 der erforderlichen Materialabtragung am Körper beliebiger Topologie 15 entspricht und die Bearbeitungsbereiche 10 einzelne Schichten 7 umfassen. Die Summe der Bearbeitungsbereiche 10 ergeben die Oberfläche 1 und die Summe der Schichten 7 ergibt die Oberflächenstruktur 2 des Körpers beliebiger Topologie 15. Jede Schicht 7 ist durch ein Polygonnetz 18 beschreibbar, wobei übereinander liegende Polygonnetze versetzt zueinander angeordnet sind. Die Oberflächenstruktur 2 des Körpers beliebiger Topologie 15 wird durch übereinander liegende, zueinander versetzt angeordnete, Polygonnetze 18 angenähert. Jedem Polygon 19 des Polygonnetzes 18 wird innerhalb des Bearbeitungsbereichs 10 eine Graustufenbitmap 14 aus einer Parallelprojektion der Ur-Texturbitmap 3 auf das Polygon 19 innerhalb des Bearbeitungsbereichs 10 zugeordnet, sodass der Materialabtrag durch das Abtragsmittel 9 in jeder Schicht 7 entsprechend der Werte der Graustufenbitmaps 14 vorgenommen werden kann. Der Abstandswert 6 zwischen zwei Schichten 7 entspricht somit der Helligkeitsdifferenz zwischen zwei benachbarten Graustufen 12

[0051] Das Urmodell wird aus der Beschreibung des Körpers beliebiger Topologie durch CAD-(Spline)-Flächen abgeleitet, welche das ursprüngliche Polygonnetz 17 ergeben.

[0052] Die Helligkeitswerte der Graustufen 12 der Graustufenbitmaps 14 werden vor oder während der Bearbeitung der Oberfläche 1 des Körpers beliebiger Topologie 15 auf die Ur-Texturbitmap 3 zurückgerechnet. Anstelle von Helligkeitswerten von Graustufen 12 können auch Farbstufen oder Farben aus dem Farbspektrum verwendet werden.

[0053] In Fig. 5 ist dargestellt, wie der Vorgang der Abtragung erfolgt, wenn ein im wesentlichen ebener Ausschnitt der Textur 2 vorliegt. Der Abtrag erfolgt von der Oberfläche 1 her in Schichten von einer im wesentlichen gleichbleibenden Schichtdicke. Zufriedenstellende Ergebnisse für die Abbildungstreue der Textur wurden bei Schichtdicken von 5  $\mu\text{m}$  erreicht. Der für die Abtragung verwendete Nd:YAG Laser kann eine Schicht von 5  $\mu\text{m}$  abtragen. Die Rasterbilder haben dabei Vorteilhafterweise eine Größe von mindestens 4 mal der Schichtdicke, da durch die Randabschnitte

immer Unschärfebereiche vorliegen. Randbereiche beinhalten dabei nicht nur die Kanten der Polygone 19, sondern auch die Randbereiche 13 der Graustufe 12, bis zu welcher in der betreffenden Schicht maximal abgetragen wird. Deutlich wird in Fig. 5 ebenfalls, dass der Abtrag schichtweise erfolgt und dass der Abtrag so lange erfolgt, so lange die Kontur der Oberflächenstruktur 2 nicht erreicht ist. Der eingezeichnete Abstandswert 6 von der Oberfläche 1 bis zur Kontur ergibt genau die Graustufe 12, bis zu welcher abgetragen werden soll. Zudem ist gezeigt, dass jede Schicht 7 bezüglich der benachbarten Schichten mit Bearbeitungsbereichen 10 überzogen ist, die zueinander versetzt angeordnet sind. Die Bearbeitungsbereiche enthalten die Teilflächen 19. Auf die versetzte Anordnung soll später noch genauer eingegangen werden.

[0054] Es ist bei entsprechender Anordnung der Polygone 19 auch möglich, die Texturkoordinaten mehrerer Polygone auf einer Bitmap zusammenzufassen. Außerdem kann beim Errechnen und Abspeichern der Polygone und zugehörigen Bitmaps auch schon eine Winkelrichtung für die Laserspuren vorgegeben werden. Die Laserspuren brauchen den Rasterlinien der Bitmap nicht unbedingt zu folgen, sondern es können Verfahren der Computergrafik zum Einsatz kommen, die für eine schräg zu den Rasterlinien verlaufende Laserspur die Helligkeitswerte errechnen, unter Verwendung von Antialiasing-Algorithmen. (vgl: eine diagonal auf einem Computerbildschirm verlaufende Linie).

[0055] Bei der Bearbeitung des Körpers beliebiger Topologie muss ein Abtragsmittel, also in diesem Beispiel ein Lasergerät zum Einsatz kommen, bei dem der Scanner, in dem sich die Galvanospiegel befinden, in Bezug auf den Körper beliebiger Topologie eine ausreichende Beweglichkeit aufweist, um eine Position anfahren zu können, die sich möglichst senkrecht relativ zu jedem Polygon im Abstand der Brennweite der Laseroptik befindet, d.h. die derjenigen Position entspricht, die bei der Berechnung der Polygone zugrunde gelegt wurde.

[0056] Für die Steuerung des Lasergerätes im Sinne einer wirtschaftlichen Bearbeitung ist es vonnöten, die Polygone im Datensatz so zu ordnen, dass sie von der Steuerelektronik in einer Reihenfolge eingelesen werden, die möglichst geringe Fahrwege des Scanners zur Folge hat. In Fig. 6 ist ein Schnitt durch eine gekrümmte Oberfläche 1 dargestellt, bei welcher die Teilflächen 19 im wesentlichen parallel zur gekrümmten Oberfläche angeordnet sind. Es ist der Übersichtlichkeit wegen nur eine einzige Schicht 7 mit ihren Teilflächen 19 dargestellt. Das Abtragsmittel 9 nimmt einen Abtrag entlang einer Teilfläche 19 vor, wobei der Abtrag nur in dem von der Kontur der Oberflächenstruktur 2 nicht erfassten Bereich erfolgt. Der

Bearbeitungsbereich 10 kann dabei mit den Randbereichen 13 der Teilfläche 19 übereinstimmen. Ein Bearbeitungsbereich 10 kann aber auch aus mehreren Teilflächen 19 oder Polygonen zusammengesetzt sein.

- [0057] Fig. 7 zeigt noch einmal im Detail, wie Abtrag auf der Teilfläche 19 erfolgt. Das Abtragsmittel 9 fährt das Rasterbild, welches der Teilfläche 19 zugeordnet ist, ab, und nimmt an allen Orten, an welchen die Graustufe 12 größer oder gleich (kleiner oder gleich) dem Wert für die Graustufe der Schicht 7 ist, zu welcher die Teilfläche 19 gehört, einen Materialabtrag vor. Das Rasterbild 14 ist in diesem Fall kleiner als die Teilfläche 19, was zur Folge hat, dass sich angrenzende Bearbeitungsbereiche 10 mit dem Fokusbereich 11 überlappen. Diese Anordnung kann vorteilhaft sein, wenn die Krümmung der Oberfläche, welche durch die Teilfläche 19 gebildet wird, so groß ist, dass eine Veränderung des Schichtabtrags bedingt durch die Eigenschaften des Abtragsmittels 9 erfolgt, was zu einem ungleichmäßigen Materialabtrag führen würde und als Fehler in der zu erzeugenden Oberflächenstruktur erkennbar wäre.
- [0058] Möglichkeiten zur Vermeidung von Trennlinien, die in dem Bereich entstehen, in dem eine Laserspur endet und die nächste beginnt, werden in Fig. 8-11 dargestellt. Diese Trennlinien entstehen durch vermehrten oder verminderten Materialabtrag an den Kanten der Polygone. Sie entstehen dann, wenn Kanten von Bearbeitungsbereichen bzw. Polygonen einer Schicht aneinander stoßen.
- [0059] Die Schichtdicke kann nun so stark herabgesetzt werden, dass die entstehende Grenzlinie in der Höhe vernachlässigbar klein im Vergleich zu der Gesamthöhe der Narbe die durch den Abtrag mehrerer Schichten entsteht und somit nicht mehr sichtbar ist. Die Addition des Trennlinien-Fehlers an den Polygonkanten 13 wird dadurch vermieden, dass jeder abzutragenden Schicht 7 ein eigenes unabhängiges 3-dimensionales Polygonnetz 18 zugeordnet wird, wie es auch in Fig. 4 dargestellt ist. Dieses kann völlig frei gewählt werden, unter Beachtung der obengenannten Vorgaben. Dabei muss beachtet werden, dass sich Polygonränder 13 zwar überschneiden (das ist unvermeidlich), aber keinesfalls übereinander liegen dürfen. Ansonsten addiert sich der Trennlinien-Fehler der verschiedenen Schichten. Das bedeutet, bei Betrachtung eines beliebigen Punktes auf der zu bearbeitenden Fläche des Körper beliebiger Topologie es und einem Materialabtrag in n Schichten, dass dieser Punkt zu n verschiedenen Polygonen 19 aus n verschiedenen Polygonnetzen 18 „gehört“. Verschiedene Möglichkeiten der Anordnung benachbarter Schichten werden in den Fig. 8-11 dargestellt, wobei die Teilflächen 19 Polygone sind. Die Teilflächen 19 einer Schicht 7 grenzen mittels gemeinsamer Randabschnitte 13 aneinander. Die Randabschnitte 13 der Teilflächen 19 benachbarter Schichten 7

kommen aber nicht übereinander zu liegen. Nach Fig. 8 weisen die Teilflächen 19 benachbarter Schichten 7 unterschiedliche Größe auf.

[0060] Nach Fig. 9 sind die Teilflächen 19 benachbarter Schichten 7 zueinander versetzt angeordnet.

5 [0061] Nach Fig. 10 sind die Teilflächen 19 benachbarter Schichten 7 gegeneinander gedreht. Nach Fig. 11 sind die Teilflächen 19 benachbarter Schichten 7 zufällig angeordnet. In diesem Fall wird auf ein Polygonnetz ganz verzichtet, und zur Vermeidung von sichtbaren Trennkanten nur die Eigenschaft ausgenutzt, dass sich die Kanten der einzelnen Polygone nicht überlagern dürfen.

10 [0062] Diese Polygone können sich entweder eine Textur-Bitmap teilen, oder aber sie verteilen sich auf mehr als eine bis maximal n Bitmaps.

[0063] Bezüglich der zugehörigen Textur-Bitmaps muss beachtet werden, dass beim Vorhandensein von mehreren Bitmaps sich der entsprechende Schichtabtrag auf die einzelnen Bitmaps verteilt. Das heißt, der endgültige Materialabtrag an einem  
15 bestimmten Punkt ergibt sich aus einer Addition der einzelnen Grauwerte der Texturbitmaps an diesem Punkt. Die oben erwähnte Fig. 4 zeigt diese Möglichkeit im Detail.

[0064] Ist der Trennlinienfehler noch stärker zu reduzieren, kann ein zur Anwendung kommen, bei dem ein Überlappungsbereich zwischen den Bearbeitungsbereichen  
20 gebildet wird, in dem die Bearbeitungsspuren des Lasers in den Anschnitten ineinander greifen, und die Übergangspunkte statistisch verteilt sind.

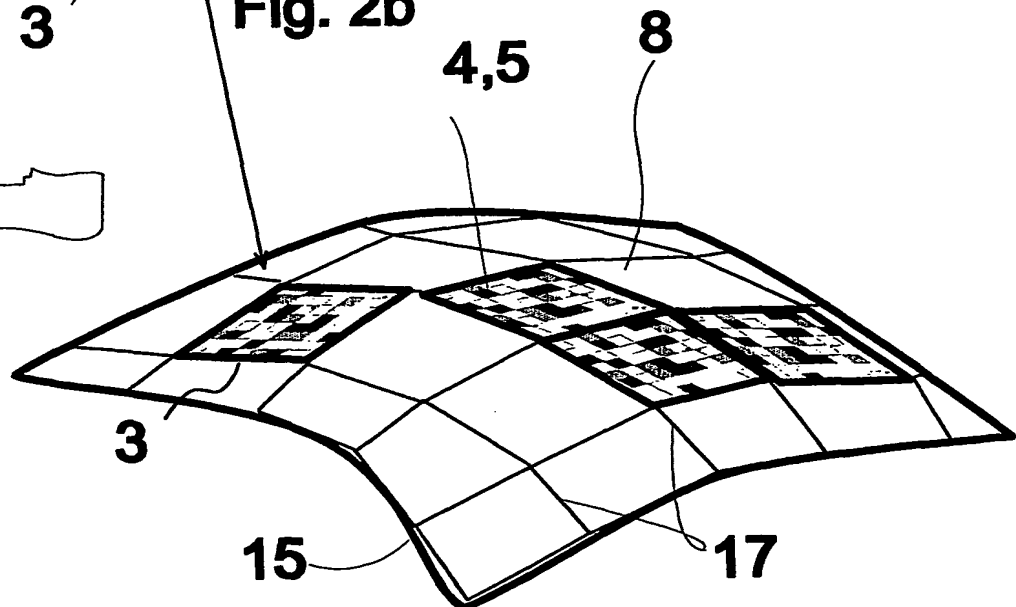
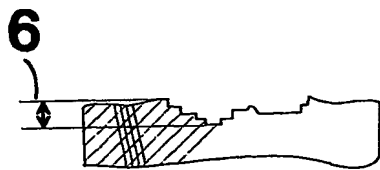
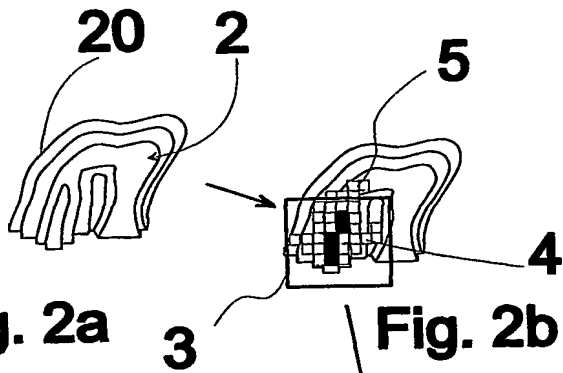
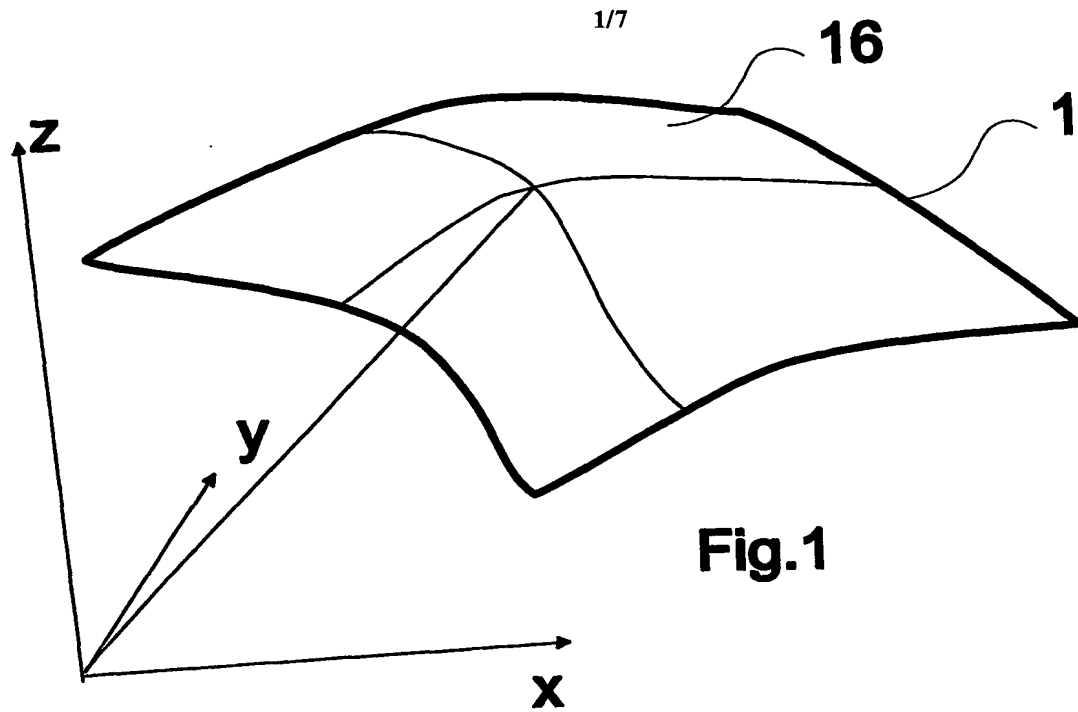


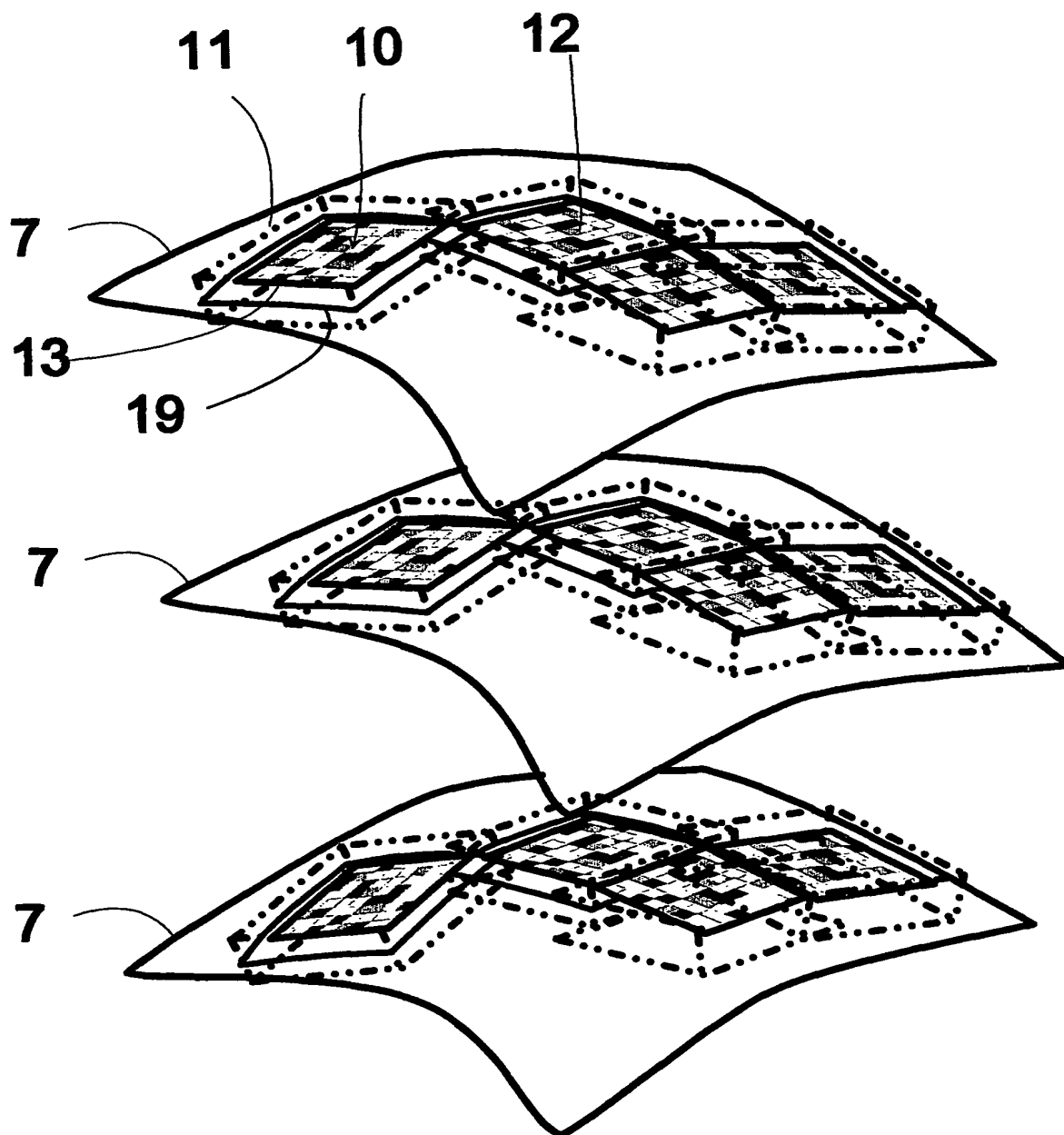
**ANSPRÜCHE**

- 5 1. Verfahren zur Erzeugung einer Textur (2) auf einer beliebig gekrümmten Oberfläche (1) durch Abtragung von Material in Schichten (7), wobei die Oberfläche (1) durch mindestens ein Polygonnetz beschrieben wird, und dieses Polygonnetz in eine Vielzahl von Teilflächen, z.Bsp. Polygonen (3) zerlegbar ist wobei die Teilflächen (3) einen Ausschnitt der Textur (2) durch eine Anzahl von Bildpunkten
- 10 (4) , denen eine Graustufe (5) zugeordnet wird, beschreiben und jede Teilfläche (3) somit über eine Anzahl an Bildpunkten (4) eine Verteilung von Graustufen (5) aufweist, gekennzeichnet dadurch, dass jeder Graustufe (5) ein Abstandswert (6) zugeordnet wird, der dem Abstand der gekrümmten Oberfläche (1) in diesem Bildpunkt zu der Texturoberfläche entspricht.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass durch den Abstandswert (6) die Anzahl der Schichten (7) festgelegt wird, in welchen Material abgetragen wird.
- 20 3. Verfahren nach Ansprüchen 1 oder 2, gekennzeichnet dadurch, dass der Abstandswert (6) ein Vielfaches einer Schichtdicke betragen kann.
4. Verfahren nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, dass jede der Schichten (7) durch ein eigenes Polygonnetz beschrieben werden kann.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 2, gekennzeichnet dadurch, dass jede Schicht (7) aus Teilflächen (19) aufgebaut ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (19)
- 30 Polygone sind.
7. Verfahren nach Anspruch 5, gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (19) einer Schicht (7) mittels gemeinsamer Randbereiche (13) aneinander grenzen.
- 35 8. Verfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, dass Randbereiche (13) der Teilflächen (19) benachbarter Schichten (7) nicht übereinander zu liegen kommen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (19) benachbarter Schichten (7) zueinander versetzt angeordnet sind.
- 5 10. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (19) benachbarter Schichten (7) gegeneinander gedreht sind.
11. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (19) benachbarter Schichten (7) zufällig angeordnet sind.
- 10 12. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet dadurch, dass die Teilflächen (19) benachbarter Schichten (7) unterschiedliche Größe aufweisen.
13. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das aus Teilflächen (19) aufgebaute Polygonnetz in ein Steuerungsprogramm eines Abtragsmittels (9) eingelesen wird.
- 15 14. Verfahren nach Anspruch 13, gekennzeichnet dadurch, dass das Steuerungsprogramm Bearbeitungsbereiche (10) festlegt.
- 20 15. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, dass ein Bearbeitungsbereich (10) mindestens eine Teilfläche (19) umfasst.
16. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, dass der
- 25 Bearbeitungsbereich (10) im Inneren eines Fokusbereichs (11) des Abtragsmittels (12) liegt.
17. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet dadurch, dass der Bearbeitungsbereich (10) zeilenweise von dem Abtragsmittel (9) angefahren wird.
- 30 18. Verfahren nach Anspruch 17, gekennzeichnet dadurch, dass das Abtragsmittel (9) eingeschaltet wird, wenn ein Bildpunkt mit einer Graustufe (12) in der im Bearbeitungsbereich (10) liegenden Schicht (7) zu liegen kommt.

19. Verfahren nach Anspruch 17, gekennzeichnet dadurch, dass die Abtragsmittel nicht eingeschaltet wird, wenn kein Bildpunkt mit einer Graustufe (12) der Schicht (7) erkannt wird.
- 5 20. Verfahren nach Ansprüchen 1,2 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Teilfläche (19) eine unterschiedliche Winkelrichtung für das Abtragsmittel (9) vorgegeben wird.
- 10 21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Abtragsmittel (9) schräg auf die Teilfläche (19) auftrifft.
- 15 22. Vorrichtung zur schichtweisen Abtragung von Material von einem Körper beliebiger Topologie (15) zur Erzeugung einer dreidimensionalen Struktur (2) auf dem Körper beliebiger Topologie, wobei die Topologie durch ein Polygonnetz (17) dargestellt wird, mittels welchem die Topologie in einem Rechner modellierbar ist, sodass durch den Rechner ein punktförmig auf die Topologie wirkendes Abtragsmittel (9) angesteuert werden kann, indem das Polygonnetz (17) mit den darauf enthaltenen Informationen über den Materialabtrag auf ein Polygonnetz (18) projiziert wird, wobei dem Abtragsmittel (9) in jedem Polygon (19) des Polygonnetzes (18) ein
- 20 Bearbeitungsbereich zugeordnet ist, gekennzeichnet dadurch, dass der Bearbeitungsbereich (10) durch zumindest ein Rasterbild (14) beschrieben wird, sodass das Abtragsmittel (9) gemäß den in dem Rasterbild (14) gespeicherten Informationen einen Materialabtrag im Bearbeitungsbereich (10) vornimmt, wobei der Ablauf für jedes Polygon (19) des Polygonnetzes (18) wiederholt wird.
- 25 23. Vorrichtung nach Anspruch 22, gekennzeichnet dadurch, dass das Rasterbild (14) mittels einer Scanvorrichtung erzeugt wurde und Informationen über die punktweise Abtragung von Material enthält.
- 30 24. Vorrichtung nach Anspruch 22, gekennzeichnet dadurch, dass der Bearbeitungsbereich (10) vollkommen im Fokusbereich (11) des Abtragsmittels (9) liegt.



**Fig. 3**

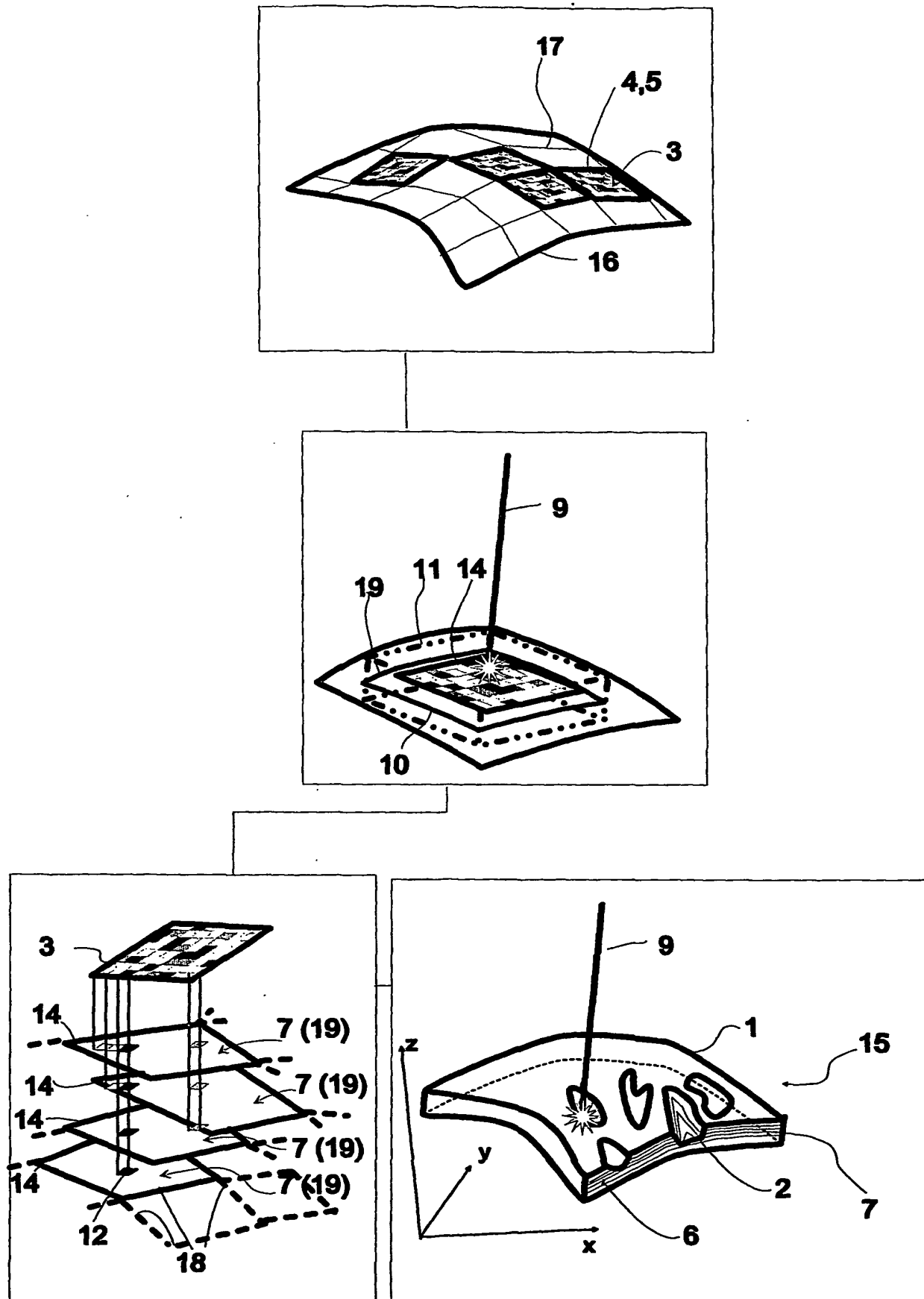
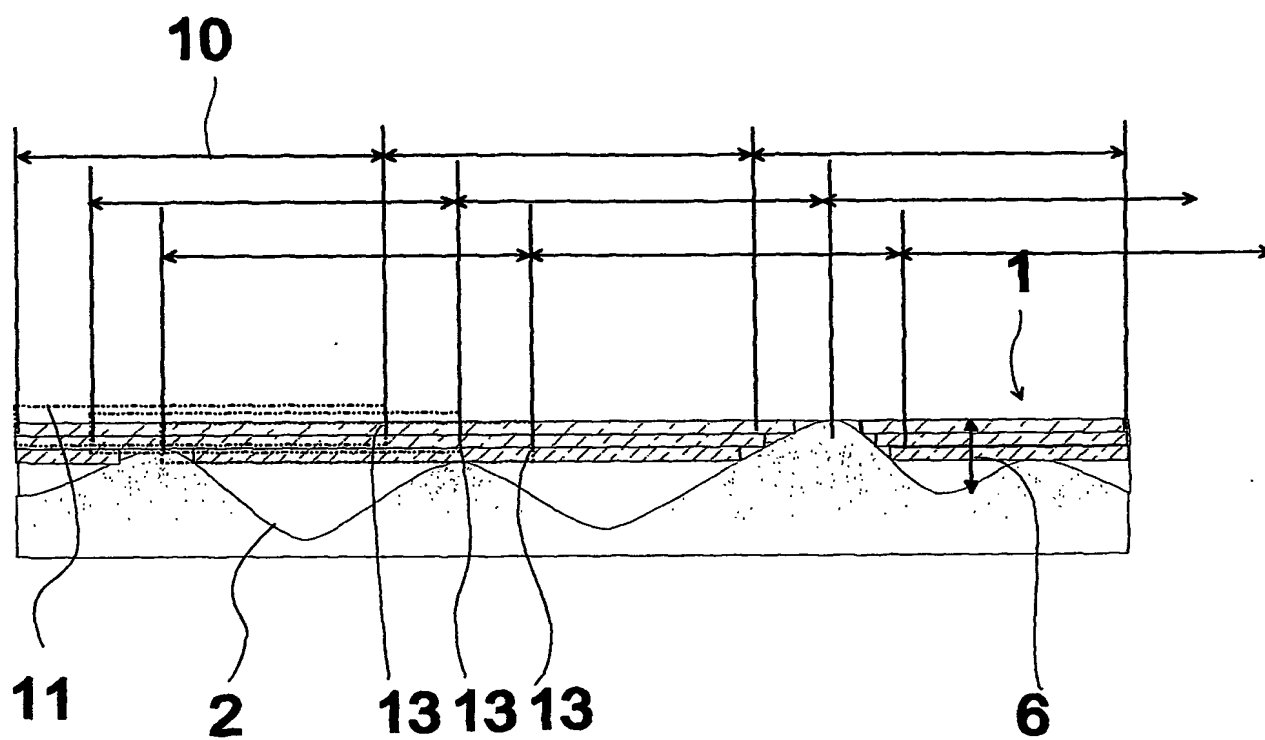
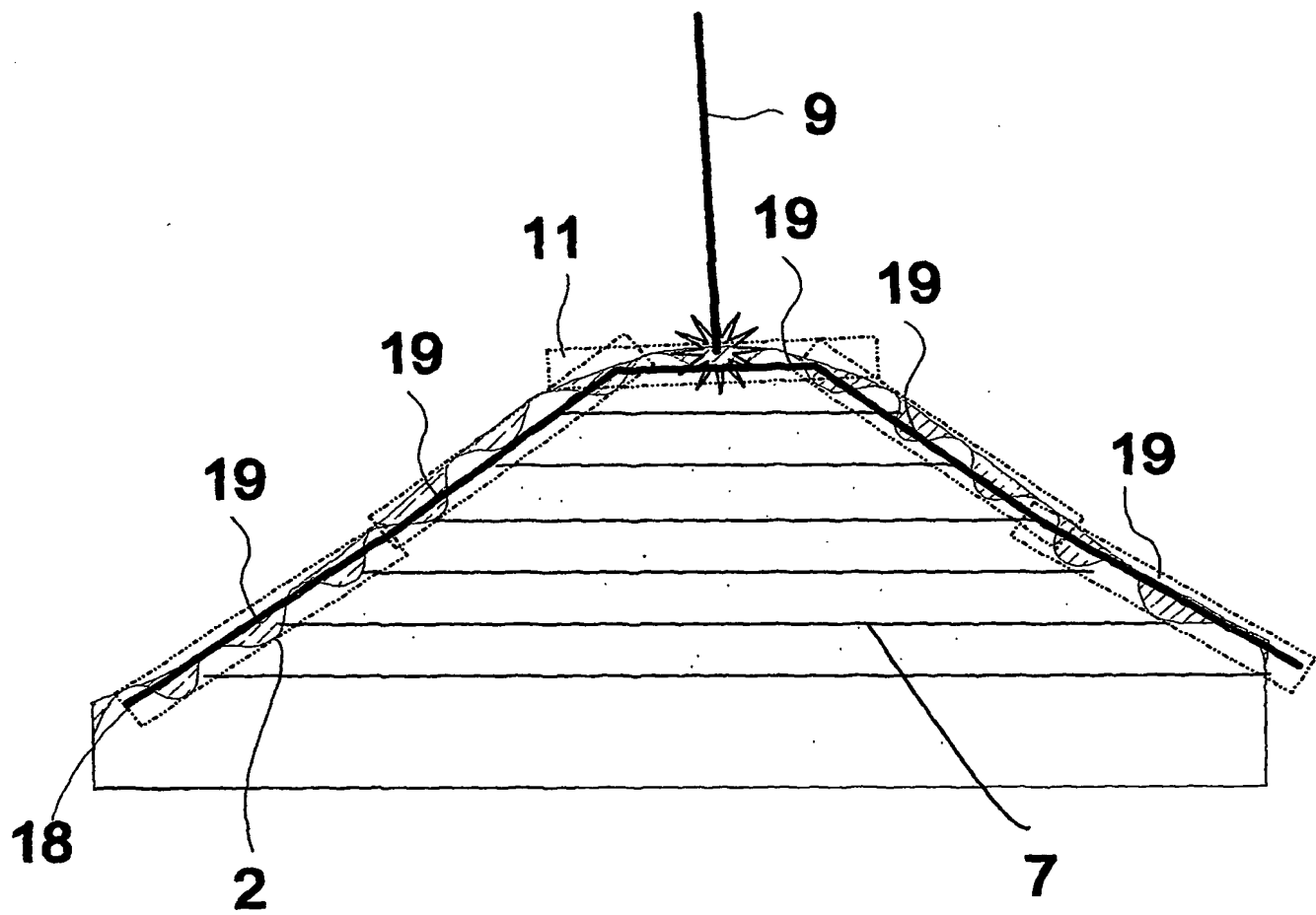


Fig. 4

**Fig. 5**

**Fig. 6**



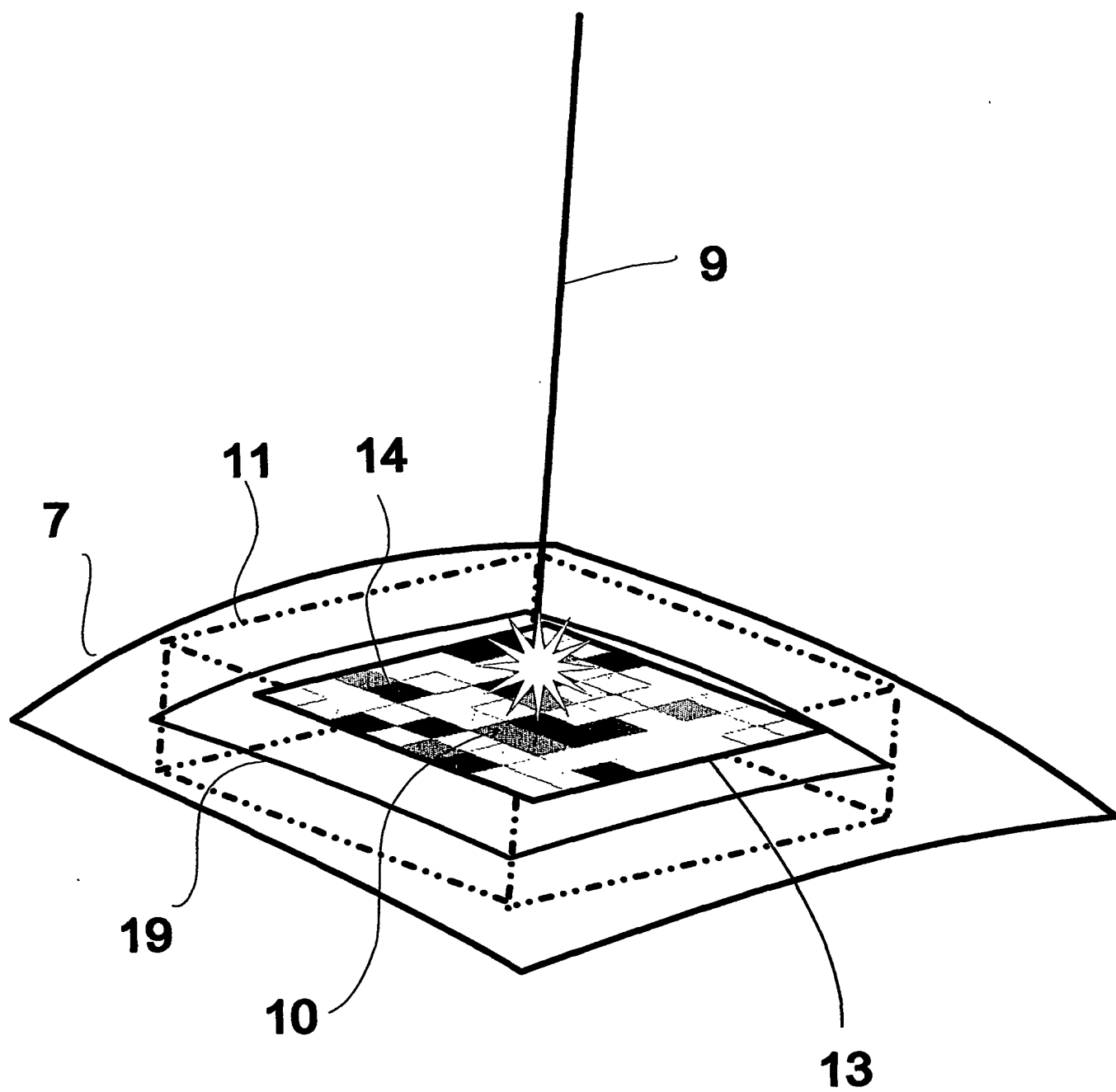


Fig. 7

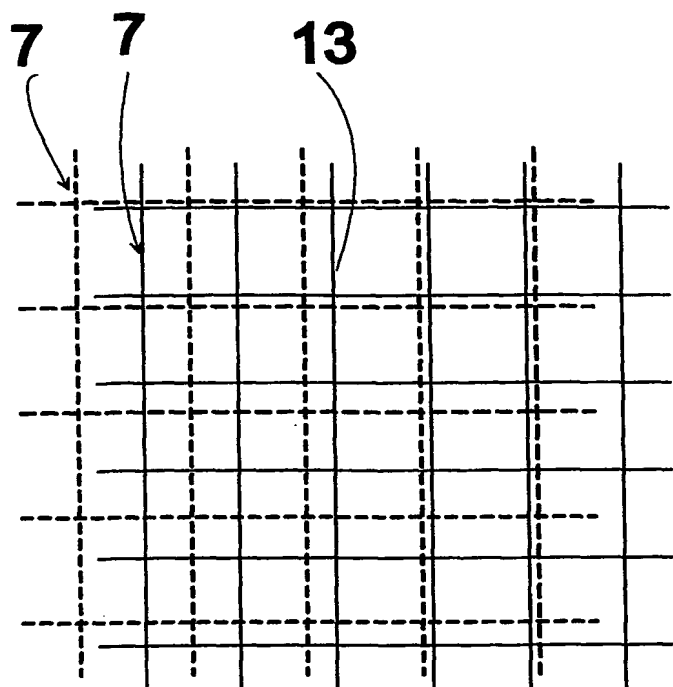


Fig. 8

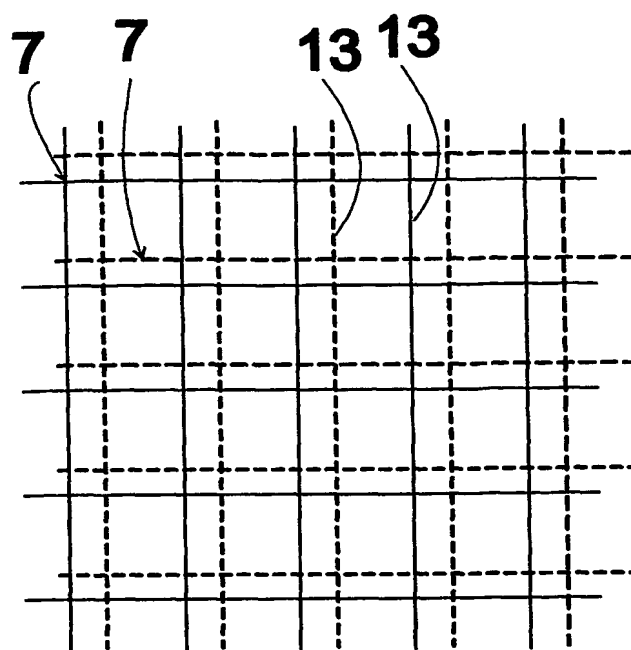


Fig. 9

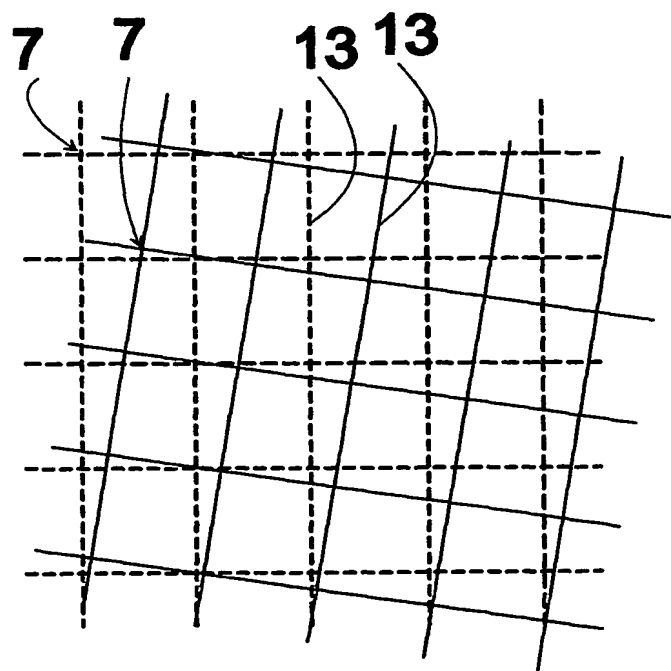


Fig. 10

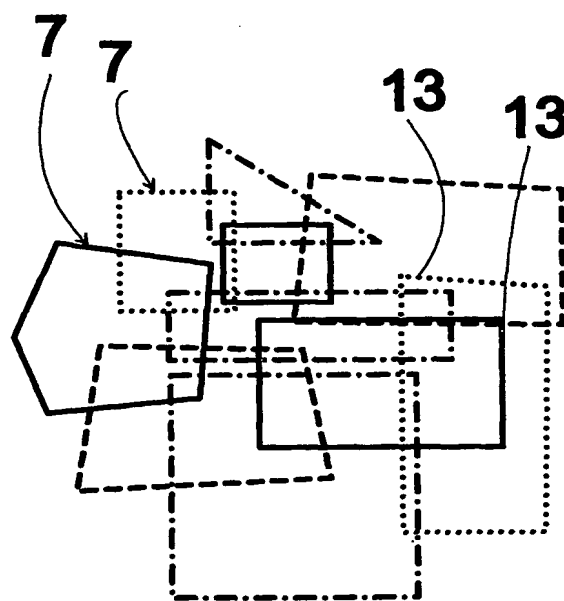


Fig. 11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/010715

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/36 B23K26/00 B41C1/05 B44C1/22 G05B19/4099  
B23K26/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K B41C B44C G05B H04N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 300 595 B1 (WILLIAMSM.S.C.) 9 October 2001 (2001-10-09) cited in the application the whole document	1-24
A	DE 44 41 337 A1 (T. ELM) 9 May 1996 (1996-05-09) column 6, line 63 - column 8, line 68; figures 1-3,5	1-24
A	DE 101 16 672 A1 (H. JUERGENSEN) 18 October 2001 (2001-10-18) cited in the application the whole document	1-24
A	DE 100 32 981 A1 (ALLTEC ANGEWANDTE LASER LICHT TECHNOLOGIE GESELLSCHAFT ET AL) 24 January 2002 (2002-01-24) the whole document	1,22

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 January 2005

Date of mailing of the international search report

31/01/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jeggy, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/010715

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6300595	B1	09-10-2001	US 6407361 B1 18-06-2002
			CA 2380076 A1 01-02-2001
			EP 1218139 A1 03-07-2002
			WO 0107199 A1 01-02-2001
			CA 2310298 A1 03-12-2000
			EP 1189724 A1 27-03-2002
			WO 0074891 A1 14-12-2000
DE 4441337	A1	09-05-1996	NONE
DE 10116672	A1	18-10-2001	NONE
DE 10032981	A1	24-01-2002	EP 1174208 A2 23-01-2002
			US 2002043522 A1 18-04-2002

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/010715

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B23K26/36 B23K26/00 B41C1/05 B44C1/22 G05B19/4099  
B23K26/08

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K B41C B44C G05B H04N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 300 595 B1 (WILLIAMSM.S.C.) 9. Oktober 2001 (2001-10-09) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-24
A	DE 44 41 337 A1 (T. ELM) 9. Mai 1996 (1996-05-09) Spalte 6, Zeile 63 - Spalte 8, Zeile 68; Abbildungen 1-3,5	1-24
A	DE 101 16 672 A1 (H. JUERGENSEN) 18. Oktober 2001 (2001-10-18) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-24
A	DE 100 32 981 A1 (ALLTEC ANGEWANDTE LASER LICHT TECHNOLOGIE GESELLSCHAFT ET AL) 24. Januar 2002 (2002-01-24) das ganze Dokument	1,22



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

24. Januar 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/01/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, T

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/010715

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6300595	B1	09-10-2001	US	6407361 B1	18-06-2002
			CA	2380076 A1	01-02-2001
			EP	1218139 A1	03-07-2002
			WO	0107199 A1	01-02-2001
			CA	2310298 A1	03-12-2000
			EP	1189724 A1	27-03-2002
			WO	0074891 A1	14-12-2000
-----					
DE 4441337	A1	09-05-1996	KEINE		
-----					
DE 10116672	A1	18-10-2001	KEINE		
-----					
DE 10032981	A1	24-01-2002	EP	1174208 A2	23-01-2002
			US	2002043522 A1	18-04-2002
-----					